

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 02 055.1

**Anmeldetag:** 21. Januar 2003

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Interferometrische Messvorrichtung

**IPC:** G 01 B 9/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. Dezember 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

17. Dez. 2002 - fle/poe

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

### **Interferometrische Messvorrichtung**

Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Messvorrichtung zum Vermessen der Oberfläche eines Objekts durch Tiefenabtastung mit einer kurz-

5 kohärenten Lichtquelle, deren abgegebenes Licht auf einen Strahlteiler zum Bilden eines über einen Objektstrahlengang auf das Objekt gerichteten Objektstrahls und eines über einen Referenzstrahlengang auf eine Referenzfläche gerichteten Referenzstrahls geführt ist, mit einem Bildaufnehmer zum Aufnehmen

10 des von der Objektoberfläche und von der Referenzfläche zurückgeworfenen und miteinander zur Interferenz gebrachten Lichts und mit einer Auswerteeinrichtung zum Bestimmen der Oberflächenform.

5

## Stand der Technik

10 /



15

20



25

30

Derartige interferometrische Messvorrichtungen, meist als Weißlichtinterferometer bezeichnet, sind in verschiedenen Ausgestaltungen bekannt, wozu beispielsweise auf die DE 100 47 495 A1, die DE 101 31 780 A1, die DE 100 39 239 A1 und die DE 101 31 779 A1 mit in diesen noch weiteren genannten Druckschriften hingewiesen sei. Allen diesen interferometrischen Messvorrichtungen ist gemeinsam, dass für die Tiefenabtastung der Oberfläche der Objektlichtweg relativ zu dem Referenzlichtweg mittels einer das Objekt, die optische Abtasteinrichtung oder die Referenzfläche in Tiefenabtastrichtung (z-Richtung) bewegendem Einheit verstellt wird. Interferenzerscheinungen treten dabei bekanntlich nur innerhalb der Kohärenzlänge des von der Lichtquelle abgegebenen Lichts auf, die beispielsweise im Bereich einiger Mikrometer liegt. Die Formvermessung der Oberfläche erfolgt z.B. durch Feststellen des Interferenzmaximums mittels der Auswerteeinrichtung, aber auch andere Auswertekriterien sind denkbar. Um genaue Ergebnisse zu erhalten, kommt es insbesondere auch darauf an, die Verstelleinheit in Form einer Verstellmechanik oder einer piezobetriebenen Einheit genau zu justieren und unempfindlich gegenüber äußeren Einflüssen zu machen, wie sie insbesondere auch bei einem Fertigungsprozess auftreten.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine interferometrische Messvorrichtung der eingangs genannten Art bereit zu stellen, die eine möglichst unempfindliche Tiefenabtastung ergibt.

## Vorteile der Erfindung

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Hiernach ist vorgesehen, dass in den Objektstrahlengang und/oder den Referenzstrahlengang mindestens ein durch ein elektrisches und/oder magnetisches Feld beeinflussbares aktives optisches Element eingebracht ist, mit dem die optische Länge des Objektlichtwegs relativ zu der optischen Länge des Referenzlichtwegs für die Tiefenabtastung veränderbar ist.

Durch diese Ausbildung der Messvorrichtung mit dem aktiven optischen Element wird die Tiefenabtastung ohne mechanisch bewegte Teile durchgeführt, wodurch diesbezügliche Störungen vermieden werden. Die Tiefenabtastung der Objektoberfläche wird allein durch die Ansteuerung des mindestens einen optischen Elements bewirkt, wobei mittels des Ansteuersignals die Abtastweise leicht geeignet wählbar und die Auswertung begünstigt wird.

Eine vorteilhafte Ausführung besteht darin, dass als aktives optisches Element mindestens ein elektro-optisches Element eingesetzt ist. Beispielsweise kann hierzu ein elektrisch ansteuerbarer Kristall verwendet werden, wie er an sich aus P. Ney, A. Maillard and M.D. Fontana, J. Opt. Soc. Am. B/Vol. 7, No. 7/July 2000, Seiten 1158 bis 1165 bekannt ist.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung für die Verbesserung der Messergebnisse besteht darin, dass das mindestens eine aktive optische Element in dem einen Strahlengang zur Veränderung des optischen Lichtweges für die Tiefenabtastung angeordnet ist und mindestens ein anderes aktives optisches Element

5 in dem anderen Strahlengang für eine Farbfehlerkorrektur und/oder Abbildungsfehlerkorrektur angeordnet ist.

10 Eine gezielte Beeinflussung der abtastenden Wellenfront wird dabei dadurch ermöglicht, dass das mindestens eine aktive optische Element mit einem inhomogenen elektrischen Feld zum gezielten Verformen der betreffenden Wellenfront beaufschlagt ist, wodurch eine gezielte Abstimmung auf Eigenschaften der Oberflä-  
che bei der Abtastung ermöglicht wird.

15 Eine weitere Anpassung an eine jeweilige Messaufgabe lässt sich dadurch erreichen, dass das mindestens eine aktive optische Element mit einer inhomogenen optischen Dichte zur gezielten Beeinflussung der Wellenfront hergestellt ist. Die inhomogene optische Dichte kann beispielsweise mittels geeigneter Dotierung erreicht werden, ähnlich wie von GRIN-Linsen her bekannt.

20 Weiterhin kann der Strahlengang bei der Abtastung gezielt dadurch angepasst werden, dass das mindestens eine optische Element eine Linse, Linsenanordnung, Teil einer Linsenanordnung oder zumindest Teil lichtablenkender optischer Medien ist.

25  
Zeichnung

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine interferometrische Messvorrichtung in schematischer Ansicht mit einem in einem Objektstrahlengang angeordneten aktiven optischen Element und

Fig. 2 eine weitere interferometrische Messvorrichtung in schematischer Ansicht mit im Referenzstrahlengang angeordnetem aktiven optischen Element.

### Ausführungsbeispiel

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, weist die interferometrische Messvorrichtung, die insbesondere als Weißlichtinterferometer ausgebildet ist, eine Lichtquelle LQ sowie einen Strahlteiler ST zum Bilden eines zu der Oberfläche OF eines Messobjektes O verlaufenden Objektstrahlenganges OG und eines zu einer Referenzfläche R verlaufenden Referenzstrahlenganges RG aus dem von der Lichtquelle LQ abgegebenen Licht auf. Das von der Objektoberfläche OF und der Referenzfläche R reflektierte Licht wird beispielsweise an dem Strahlteiler ST oder einer anderen geeigneten Stelle überlagert und interferiert, sofern die optische Weglänge des Objektstrahlenganges OG und des Referenzstrahlenganges RG innerhalb der Kohärenzlänge des Lichts der Lichtquelle LQ (oder gegebenenfalls spektral angepassten Lichts) liegt. Die Kohärenzlänge liegt z.B. im Bereich einiger oder einiger zehn oder hundert Mikrometer. Das Maximum des Interferenzkontrasts wird erreicht, wenn der Objektstrahlengang OG und der Referenzstrahlengang RG gleiche optische Weglänge besitzen. Das überlagerte Licht wird einem Bildaufnehmer BA insbesondere einer Kamera (CCD-Kamera oder CMOS-Kamera) zuge-

5 führt und in einer angeschlossenen Auswerteeinrichtung A hinsichtlich der Form der abgetasteten Objektoberfläche OF ausgewertet. Als Oberflächenform können z.B. eine Oberflächenrauigkeit, und/oder gewünschte Oberflächenkonturen er-  
10 fasst werden, um eine dreidimensionale Vermessung der Objektoberfläche zu erhalten. Zur Anpassung des Strahlengangs an die Objektoberfläche OF ist in dem Objektstrahlengang OG eine geeignete Linsenordnung L angeordnet, die mit weiteren optischen Elementen kombiniert werden kann, wie in den eingangs ge-  
15 nannten Druckschriften näher ausgeführt. Entsprechende optische Elemente können auch in dem Referenzstrahlengang RG angeordnet sein.

15 Wie die Fig. 1 weiter zeigt, ist in dem Objektstrahlengang OG zum Bewirken der Tiefenabtastung (z-Richtung) der Objektoberfläche OF ein aktives optisches Element AOE angeordnet, mit dem die optische Weglänge des Objektstrahlen-  
20 gangs OG relativ zu dem Referenzstrahlengang RG definiert variierbar ist. Vorliegend handelt es sich beispielsweise um einen elektro-optisch wirksamen Kristall, der mittels eines elektrischen Spannungssignals bzw. des daraus re-  
25 sultierenden elektrischen Felds in seinem Brechungsverhalten geeignet gesteuert wird, wie an sich aus dem eingangs genannten Artikel von P. Ney et al in J. Opt. Soc. Am., 2000, Seiten 1158 bis 1165 bekannt. Auch ähnliche elektro-  
30 optisch wirksame aktive Elemente sind einsetzbar. Zudem kommen auch elektro-magnetisch oder magnetisch beeinflussbare aktive optische Elemente in Be-  
tracht. Das Ansteuersignal kann dabei leicht für eine geeignete Ansteuerung des aktiven optischen Elementes AOE geformt werden und auch mit der Auswertung in der Auswerteeinrichtung A sowie mit der Ansteuerung des Bildaufnehmers BA synchronisiert werden. Dabei kann leicht auch eine Abstimmung auf eine laterale Abtastung der Objektoberfläche OF in x-, y-Richtung vorgenommen werden.

5 Fig. 2 zeigt eine alternative Ausführung der interferometrischen Messvorrichtung, wobei ein aktives optisches Element AOE' in dem Referenzstrahlengang RG angeordnet ist. Das aktive optische Element AOE' in dem Referenzstrahlengang RG kann zur Kompensation von Farbfehlern oder anderen Abbildungsfehlern des in dem Objektstrahlengang OG befindlichen aktiven optischen Elementes AOE genutzt werden, wenn es in Kombination mit diesem eingesetzt ist, und/oder es kann ebenfalls zum Ändern der optischen Weglänge des Referenzstrahlengangs RG relativ zu der optischen Weglänge des Objektstrahlengangs OG genutzt werden.

15 Weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten bestehen darin, dass die Linsenanordnung L zumindest teilweise als aktives optisches Element AOE ausgebildet ist. Zudem kann auch eine Kombination mit anderen, z.B. ablenkenden optischen Elementen vorgenommen werden, um eine geeignete Anpassung an eine jeweilige zu vermessende Objektoberfläche OF zu erreichen. Entsprechende Elemente können dann zur Kompensation auch in dem Referenzstrahlengang RG angeordnet werden. Denkbar ist dabei auch, ablenkende Elemente als aktive optische Elemente auszubilden. Mit derartigen Kombinationen mehrerer aktiver optischer Elemente AOE bzw. AOE' in dem Objektstrahlengang OG und/oder dem Referenzstrahlengang RG werden die Anwendungsmöglichkeiten der interferometrischen Messvorrichtung für unterschiedliche Messaufgaben erweitert.



5 Werden an z.B. ein elektro-optisch wirksames aktives optisches Element AOE  
Signale zum Erzeugen eines inhomogenen Feldes gelegt, können auch die Wellenfronten gezielt geformt und an die Form der zu vermessenden Objektoberfläche OF, z.B. gekrümmte Oberflächen, angepasst werden, um diese eben ab-  
10 bilden zu können. Die Zuführung der Signale kann dabei z.B. mittels durchsichtiger Elektroden auf den Strahldurchgangsflächen oder aber durch Anordnung auf seitlich davon befindlichen Flächen des aktiven optischen Elementes AOE vorgenommen werden.

15 Eine Verformung der Wellenfronten kann auch dadurch erreicht werden, dass das aktive optische Element AOE bzw. AOE' als Kristall inhomogener optischer Dichte ausgebildet ist, ähnlich wie von GRIN-Linsen her bekannt. Auch diese Kristalle können wiederum durch homogene oder inhomogene Felder angesteuert werden. Auch hierbei ist eine Fehlerkorrektur in der vorstehend genannten Weise durchführbar.

20 Werden homogene elektrische Felder zur Ansteuerung des mindestens einen aktiven optischen Elementes AOE verwendet, bleibt die Wellenfront beim Durchgang durch das Element unbeeinflusst, während sie durch Beaufschlagung mit einem inhomogenen elektrischen Feld gezielt lokal gesteuert werden kann, wodurch die Einsatzmöglichkeiten des Interferometers erweitert werden. Durch  
25 Kombination mehrerer aktiver optischer Elemente AOE bzw. AOE', die mit gleichen oder unterschiedlichen Spannungssignalen angesteuert werden, werden die Anwendungsmöglichkeiten noch erweitert, da die Wellenfronten stärker bzw. gezielter verformt werden können und auch der Tiefenabstastbereich erweitert

5 werden kann. Beispielsweise lassen sich dabei die Eigenschaften von Streu- und Sammellinsen erzeugen und unterschiedlich miteinander kombinieren.

Mit den beschriebenen Maßnahmen wird eine Tiefenabtastung der Objektoberfläche OF ermöglicht, ohne eine mechanische Bewegung mittels mechanischer Verstelleinheiten einzusetzen.

10

17. Dez. 2002 - f/p

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

### Ansprüche

1. Interferometrische Messvorrichtung zum Vermessen der Oberfläche eines Objekts (O) durch Tiefenabtastung mit einer kurzkohärenten Lichtquelle (LQ), deren abgegebenes Licht auf einen Strahlteiler (ST) zum Bilden eines über einen Objektstrahlengang (OG) auf das Objekt (O) gerichteten Objektstrahls und eines über einen Referenzstrahlengang (RG) auf eine Referenzfläche (R) gerichteten Referenzstrahls geführt ist, mit einem Bildaufnehmer (BA) zum Aufnehmen des von der Objektoberfläche und von der Referenzfläche (R) zurückgeworfenen und miteinander zur Interferenz gebrachten Lichts und mit einer Auswerteeinrichtung (A) zum Bestimmen der Oberflächenform,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass in den Objektstrahlengang und/oder den Referenzstrahlengang mindestens ein durch ein elektrisches und/oder magnetisches Feld beeinflussbares aktives optisches Element (AOE, AOE') eingebracht ist, mit

5 dem die optische Länge des Objektlichtwegs relativ zu der optischen Länge des Referenzlichtwegs für die Tiefenabtastung veränderbar ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

10 dass als aktives optisches Element (AOE) mindestens ein elektro-optisches Element eingesetzt ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet,

15 dass das mindestens eine aktive optische Element (AOE, AOE') in dem einen Strahlengang (OG oder RG) zur Veränderung des optischen Lichtweges für die Tiefenabtastung angeordnet ist und das mindestens eine andere aktive optische Element (AOE', AOE) in dem anderen Strahlengang (RG oder OG) für eine Farbfehlerkorrektur und/oder Abbildungsfehlerkorrektur angeordnet ist.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

25 dass das mindestens eine aktive optische Element (AOE, AOE') mit einem inhomogenen elektrischen Feld zum gezielten Verformen der betreffenden Wellenfront beaufschlagt ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

5 dass das mindestens eine aktive optische Element (AOE, AOE') mit einer inhomogenen optischen Dichte zur gezielten Beeinflussung der Wellenfront hergestellt ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

10 dass das mindestens eine optische Element eine Linse, Linsenordnung (L), Teil einer Linsenordnung (L) oder zumindest Teil lichtablenkender optischer Medien ist.

17. Dez. 2002 - fle/poe

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

**Zusammenfassung**

Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Messvorrichtung zum Vermessen der Oberfläche eines Objekts (O) durch Tiefenabtastung mit einer kurzkohärenten Lichtquelle (LQ), deren abgegebenes Licht auf einen Strahlteiler (ST) zum Bilden eines über einen Objektstrahlengang (OG) auf das Objekt (O) gerichteten Objektstrahls und eines über einen Referenzstrahlengang (RG) auf eine Referenzfläche (R) gerichteten Referenzstrahls geführt ist, mit einem Bildaufnehmer (BA) zum Aufnehmen des von der Objektoberfläche und von der Referenzfläche (R) zurückgeworfenen und miteinander zur Interferenz gebrachten Lichts und mit einer Auswerteeinrichtung (A) zum Bestimmen der Oberflächenform. Ein Weißlichtinterferometer ohne mechanische Verstelleinheiten für die Tiefenabtastung wird dadurch erhalten, dass in den Objektstrahlengang und/oder den Referenzstrahlengang mindestens ein durch ein elektrisches und/oder magnetisches Feld beeinflussbares aktives optisches Element (AOE, AOE') eingebracht ist, mit dem die optische Länge des Objektlichtwegs relativ zu der optischen Länge des Referenzlichtwegs für die Tiefenabtastung veränderbar ist (Fig. 1).

1/1

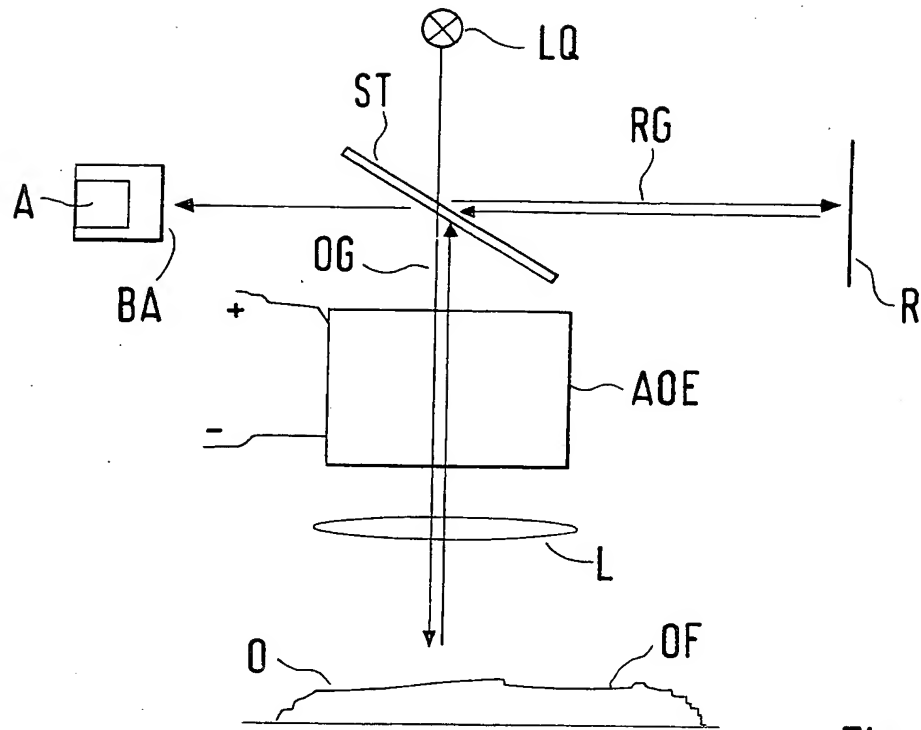


Fig.1

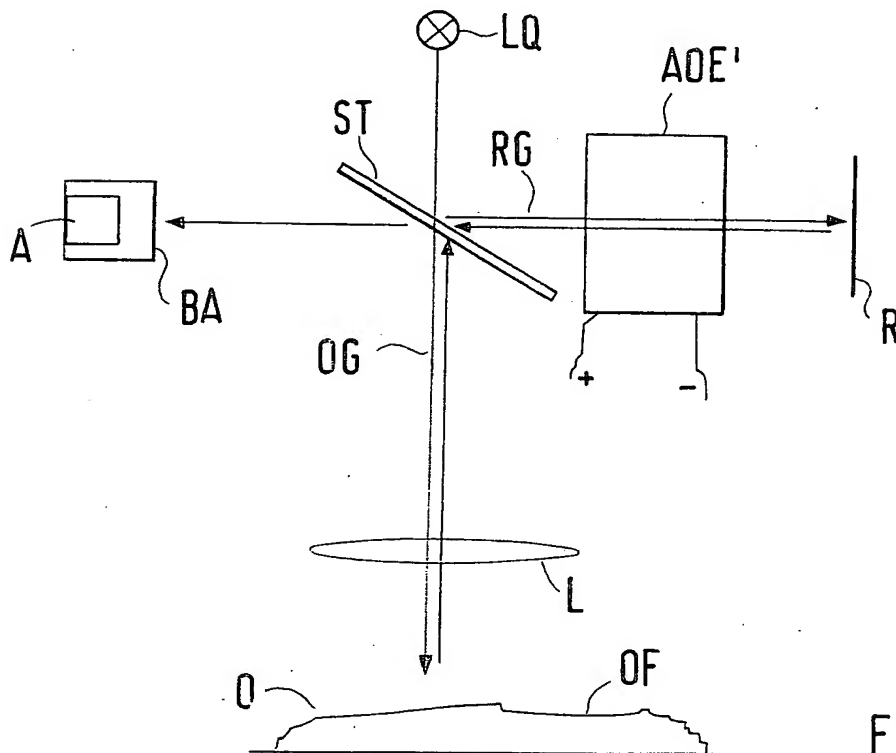


Fig.2